

Отже, сумарний квадрат стандартного відхилення відносної похибки результату вимірювання питомої провідності за допомогою експериментального дослідження макета електричної томографічної системи становить  $3,59 \cdot 10^{-3} \%$ .

### **Висновок**

Під час реконструкції питомої електричної провідності за допомогою експериментального дослідження макета електричної томографічної системи отримано адитивну похибку вимірювань зовнішніх електродних величин  $3,59 \cdot 10^{-3} \%$ , що задовольняє вимогам забезпечення рівня похибок вимірювань зовнішніх електродних величин декілька тисячних відсотка.

1. Дорожжовець М. Оцінювання впливу інструментальних похибок на точність відтворення просторового розподілу провідності // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Вимірювальна техніка та метрологія". – 2002. – №59. – С. 126–131. 2. Дорожжовець М., Ковальчик А. Аналіз сумісного впливу методичної та інструментальної похибок томографії провідності // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Вимірювальна техніка та метрологія". – 2002. – №59. – С. 115–118. 3. NI 625XSpecifications. [www://NI.com// PCI NI-6251](http://www.ni.com/PCI-NI-6251). 4. Дорожжовець М. Математична модель інструментальної похибки вимірювальної системи томографії електричної провідності // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка", "Автоматика вимірювання та керування. – 2000. – №389. – С. 9–17.

УДК 681.3.06

Ю.В. Дубова

Вінницький національний технічний університет

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ЗВУКУ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

© Дубова Ю.В., 2007

**Запропоновано метод оцінки якості передавання звуку у телекомунікаційних системах за допомогою системи розпізнавання мови. Метод може бути використаний для оцінки якості довільної системи, що перетворює звукову інформацію незалежно від характеру перетворень звуку всередині системи.**

**Method of sound transfer quality evaluation in telecommunication systems using speech recognition system is proposed in the article. Method could be used for quality evaluation of arbitrary system which transforms sound information regardless of transformation type inside the system.**

### **Вступ**

У сучасному світі глобальних мереж передавання даних та комунікацій людині постійно потрібний зв'язок для отримання інформації. Цей зв'язок можна отримати із розвинених інфраструктур, а саме книжок, газет, радіо, телебачення, інтернету, телефону тощо. Але оскільки людина постійно знаходиться в русі, їй потрібний постійний мобільний зв'язок для отримання усєї необхідної інформації із високою швидкістю. В цьому напрямі бурхливо розвивається мобільний зв'язок, змінюючи покоління за поколінням.

На сьогоднішньому етапі розвитку мобільного зв'язку виділяють три основні покоління передавання даних та декілька проміжних, а саме:

1. 1G мережі – аналогове передавання голосу (телефон);
2. 2G мережі – цифрове передавання голосу (телефон), SMS, ігри зі швидкістю від 9.6 Кбіт/с до 14.4Кбіт/с;
3. 2.5G мережі – цифрове передавання голосу (телефон), конференції, передавання мультимедіа-інформації, інтернет, мобільний банкінг, послуги, що ґрунтуються на місцезнаходженні абонента тощо зі швидкістю від 57.6Кбіт/с до 115Кбіт/с;

4. 3G мережі – цифрове передавання голосу (телефон), відеотелефон, конференції, відеоконференції, передавання мультимедіа-інформації, голосова та відеопошта, високошвидкісний доступ до мережі Інтернет, TV/Відео програвач, навігація, відео/фотозйомка тощо зі швидкістю від 144КБіт/с до 2Мбіт/с. [6,5]

Також в Японії вже ведуться роботи над четвертим поколінням передавання даних.

У мережах другого та третього поколінь використовується велика кількість алгоритмів для обробки даних: це різноманітні методи компресії/декомпресії (кодеки), криптування, відновлення пошкоджених пакетів інформації тощо. Кожний виробник пристроїв для передавання даних (мобільних телефонів, комунікаторів, телефонних станцій тощо), повинен підтримувати принаймні більшість розроблених алгоритмів і стандартів для забезпечення якості передавання голосової інформації. Тому **проблема** контролю якості передавання голосової інформації телекомунікаційними мережами є **актуальною**.

На сучасному рівні розв'язання проблеми використовують три підходи [1]:

1. Апаратний контроль фізичних параметрів каналів зв'язку;
2. Програмне тестування протоколів зв'язку;
3. Експертне оцінювання якості прийнятої голосової інформації.

Якщо перші два способи контролю можуть виконуватися за допомогою автоматизованих систем, то експертне оцінювання на сучасному етапі здійснюється виключно людиною. Але так звана «суб'єктивна», тобто людська оцінка, є дуже дорогою, оскільки розмаїття апаратних і програмних платформ телекомунікаційних систем приводить до необхідності здійснення дуже великої кількості експериментів і, відповідно, витрат людської праці. Тому її використання можуть собі дозволити лише світові телекомунікаційні гіганти досить рідко.

Тому постає **задача** створення автоматизованої системи контролю якості передавання голосової інформації телекомунікаційними мережами.

### Методологія розв'язання задачі

За критерій якості передавання голосової інформації телекомунікаційними мережами вважаємо достовірність розпізнавання мови [7]. Запропонований метод оцінки якості передавання звуку телекомунікаційним пристроєм CD (communication device) полягає в наступному.

Схему методу зображено на рис. 1.

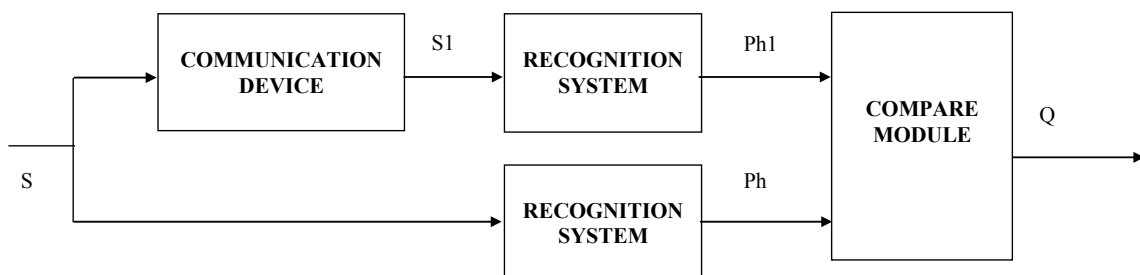


Рис. 1. Метод оцінки якості передавання звуку телекомунікаційним пристроєм

Нехай  $S$  (sounds) – деяка еталонна множина голосових тестів (звукових файлів). Спочатку набір  $S$  подається на вхід системи розпізнавання мови  $RS$  (recognition system), на виході якої отримаємо набір розпізнаних фраз  $Ph$  (phrases). Після цього набір  $S$  подається на вхід  $CD$ , на виході якого отримуємо певний спотворений набір  $S^1$ . Набір  $S^1$  пропускається через систему розпізнавання  $RS$ , на виході якої отримуємо набір розпізнаних фраз  $Ph^1$ . Порівнюючи дві множини  $Ph$  та  $Ph^1$  між собою, можна оцінити якість передавання звуку  $Q$  за допомогою  $CD$ .

Запропонований метод не передбачає розгляду процесів, які відбуваються всередині телекомунікаційного пристрою, а тому може бути використаний для оцінки якості довільної системи, що перетворює звукову інформацію.

Також метод не спирається на особливості власне системи розпізнавання мови, оскільки оцінка якості відбувається шляхом порівняння еталонного набору розпізнаних фраз із спотвореним

набором, тобто враховується не абсолютна ймовірність розпізнаної фрази, а її відносна ймовірність порівняно з ймовірністю розпізнавання фрази еталонної. Далі буде детальніше роз'яснено запропонований критерій оцінки якості.

Отже, для реалізації запропонованого методу необхідно визначити:

1. Критерій обрання множини  $S$ , які дають змогу стверджувати, що за допомогою запропонованого методу об'єктивно перевіряється якість телекомунікаційного пристрою, тобто рівномірно розглядається вся множина інформації, яку можна передати через CD.

2. Критерій оцінки якості телекомунікаційного пристрою за допомогою порівняння множин фраз ( $Ph$  та  $Ph^1$ ). [10,9]

Розглянемо ці питання окремо.

### Критерій вибору еталонної множини тестів

Голосову інформацію зазвичай розглядають на декількох рівнях декомпозиції:

1. Рівень змістовного тексту;
2. Рівень окремих змістовних фраз;
3. Рівень слів;
4. Рівень фонем.

Якість розпізнавання голосової інформації потенційно є найбільшою на найвищому першому рівні і найменшою на останньому. Причиною цього є наявність додаткової інформації, яка міститься у сполученні елементів нижнього рівня і може бути використана як додатковий критерій розпізнавання на вищому рівні. Отже, якість розпізнавання фонем можна використати як нижню границю якості, що є найважливішою характеристикою системи передавання інформації.

У попередніх роботах [2,3] розглядався простір голосових команд як багатовимірний топологічний простір і було доведено правомірність такого підходу.

Для отримання кількісної оцінки якості системи передавання голосової інформації використовуємо погіршення роздільної здатності системи розпізнавання на просторі прийнятої інформації порівняно з роздільною здатністю на просторі переданої інформації

$$K = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1/\rho(F_i, F_j)}{1/\rho_0(F_i, F_j)}, \quad (1)$$

де  $m$  – кількість фонем (точок топологічного простору);  $\rho(F_i, F_j)$  – відстань від  $i$ -ї фонем до найближчої  $F_j$ , які після передавання розпізнаються системою як різні;  $\rho_0(F_i, F_j)$  – відстань від  $i$ -ї фонем до найближчої  $F_j$ , які до передавання розпізнавалися системою як різні.

Міра відстані між фонемами  $F$  повинна задовольняти умову адитивності

$$\rho(F_1, F_2) = \rho(F_1, F_0) + \rho(F_0, F_2).$$

Як математичну модель голосової інформації обрано математичний апарат прихованих марковських моделей (ПММ). Надалі в тексті під терміном «голосова інформація» треба розуміти «ПММ голосової інформації», якщо прямо не вказано інше значення.

Було запропоновано таку метрику відстані між прихованими марковськими моделями голосових команд  $M$  і  $M^1$  [2,3]:

$$\rho(M, M^1) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=2}^{N-1} \left[ \frac{1}{2^2} \cdot \left[ P_j^2(t) \cdot \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_j} + P_j'^2(t) \cdot \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_j'} \right] - 2 \cdot P_j(t) \cdot P_j'(t) \cdot \prod_{i=1}^n \frac{e^{-\frac{(m_i - m_i')^2}{2(\sigma_i^2 + \sigma_i'^2)}}}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_i'^2}} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

де  $N$  – кількість вершин ПММ;  $n$  – кількість координат нормального розподілу ймовірності, пов'язаного із вершиною ПММ (кількість вимірів топологічного простору);  $m_i$  та  $\sigma_i$  – параметри нормального розподілу, пов'язаного із  $i$ -м виміром  $j$ -ї вершини ПММ;  $P_j(t)$  – ймовірність, з якою в момент часу  $t$  вектор спостереження згенерується в вершині  $j$  в моделі  $M$  (обчислюється на основі топології та транзитних ймовірностей ПММ).

Обмеженням для метрики є використання ПММ із однаковою топологією:

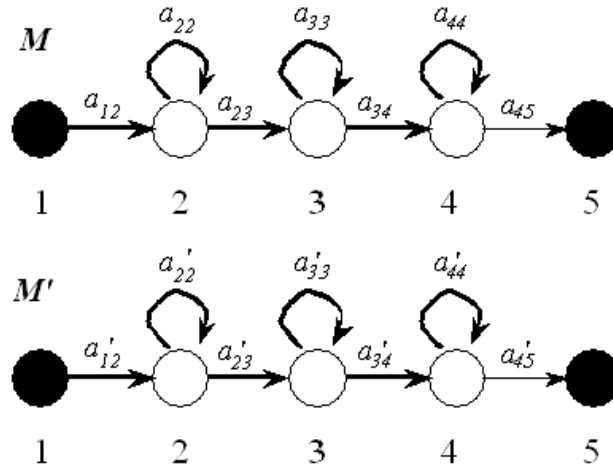


Рис. 2. Приклад ПММ, між якими обчислюється відстань  $a_{ij}$  – імовірність переходу між станами  $i$  і  $j$

Кількість фонем  $n$  визначається фонетичною структурою мови, обраної для тестування каналу передавання голосової інформації. Так, наприклад, дані щодо основних мов міжнародного спілкування з фонемною структурою наведено у таблиці [4].

Мова	Структура	Кількість носіїв (млн. осіб)	Кількість фонем
англійська	фонемна	400	42
німецька	фонемна	100	63
іспанська	фонемна	400	31
французька	фонемна	130	35
російська	фонемна	280	43
арабська	фонемна	260	34
китайська	морфемна	900	414 (1324 з врахуванням тонових варіантів)

Кількість вимірів  $m$  топологічного простору визначається кількістю ознак, які використовуються для розпізнавання фонем. Такими ознаками можуть бути спектральні коефіцієнти, кепстральні коефіцієнти, коефіцієнти вейвлет-перетворення, коефіцієнти кореляції спектральних складових, енергетичні характеристики сигналу тощо [8].

В основу системи контролю якості каналу може бути покладена або існуюча система розпізнавання мови – тоді набір ознак і перелік мов є відомим і необхідно лише синтезувати набір тестових звукових файлів, або спеціально побудована підсистема розпізнавання – тоді набір ознак і базова мова може бути обрана з урахуванням особливостей задачі.

Запропоновано такий підхід до вибору еталонної множини звукових файлів: обрати деяку голосову команду та знайти всі команди, що знаходяться на відстані, кратній заданому інтервалу  $R$  із певною точністю  $\Delta$ . У результаті отримаємо таку впорядковану еталонну множину  $S$ , що відстань між попереднім та наступними елементами дорівнюватиме  $R$  із точністю  $\Delta$ :

$$|\rho(S_{i+1}, S_i) - R| \leq \Delta. \quad (3)$$

У першому випадку з усіх фонем  $F$  заданої мови обираємо базову множину, яка задовольняє умовам:

– у кожній парі фонем  $(f_1, f_2)$  множину ознак  $X$  розбиваємо на дві підмножини:  $X = X_1 \cup X_2$ ,

$$\forall x_i \in X_1 : |x_i(f_1) - x_i(f_2)| \leq \Delta, \quad \forall x_i \in X_2 : |x_i(f_1) - x_i(f_2)| > \Delta;$$

– множина підмножин  $X_1 \in$  покриттям множини  $X \quad \bigcup_{\forall(f_1, f_2)} X_1 = X$  ;

– для кожної ознаки  $x_i \in X$  існує підмножина пар фонем  $\overline{(f_1, f_2)}$  така, що

$$\text{card} \bigcap_{(f_1, f_2) \in \overline{(f_1, f_2)}} X_1 = 1,$$

де  $\text{card}$  – кардинальне число (потужність) множини.

У другому випадку з метою мінімізації обсягу тестів доцільно обрати базову мову і множину ознак за додаткової умови

$$\bigcup_{\forall(f_1, f_2)} (f_1, f_2) = F, \quad \text{card} \bigcup_X \overline{(f_1, f_2)} \rightarrow \min$$

Тест складається із слів, які загалом містять всі фонемі обраної базової множини. Кількість разів входжень фонем у тест повинна задовольняти умову статистичної достовірності отриманих оцінок роздільної здатності.

### Критерій оцінки якості телекомунікаційного пристрою

Якість передавання голосової інформації оцінюють на основі статистичної обробки результатів розпізнавання згенерованого тесту після проходження через канал зв'язку, в результаті якої будується характеристика  $P_r(\rho)$ , де  $P_r$  – вірогідність розпізнавання.

Оскільки ПММ у просторі ознак розподілені нерівномірно, то роздільна здатність повинна бути перерахована за допомогою інтерполяції шкали (рис. 3) відповідно до залежності  $P_r(\rho)$ .

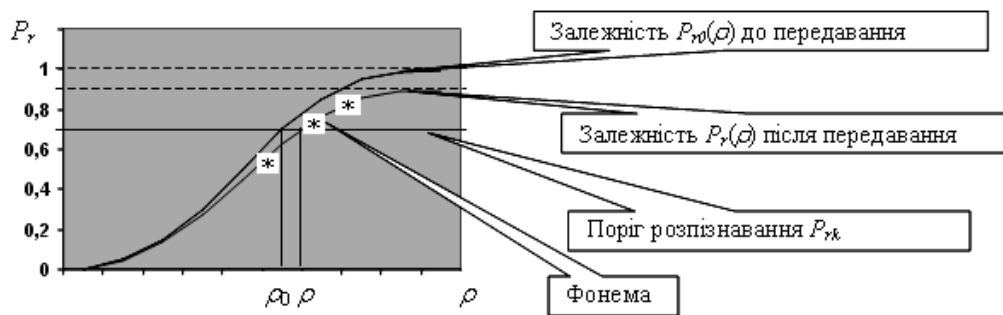


Рис. 3. Інтерполяція фонемної шкали якості

Базові показники  $\rho$  і  $\rho_0$  розраховуються шляхом розв'язання рівнянь  $P_{r0}(\rho_0) = P_{rk}$  і  $P_r(\rho) = P_{rk}$ .

### Висновки

Запропонований метод оцінки якості передавання звуку у телекомунікаційних системах за допомогою системи розпізнавання мови може бути використаний для оцінки якості довільної системи, що перетворює звукову інформацію незалежно від характеру перетворень звуку всередині системи. Систему розпізнавання мови використано лише як інструмент, і результати оцінки якості не залежать від самої системи, тому будь-яка із розроблених сьогодні систем може бути використана для запропонованого методу.

Як перспективи цього дослідження вбачаються розширення метрики для використання ПММ із довільною топологією, дослідження ефективності використання інших метрик, крім (2), а також порівняльний аналіз ефективності запропонованого критерію та критеріїв, затверджених міжнародним стандартом ITU-T (алгоритми PESQ, PSQM та PAMS).

1. Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицький А.Л. IP-Телефонія. – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с. 2. Грузман М.З., Дубова Ю.В. Проблема розпізнавання голосових команд з точки зору автоматичної класифікації об'єктів // Вісник технологічного університету Поділля. Т. 1. Технічні науки. – 2003. – №3. – С. 116–119. 3. Грузман М.З., Дубова Ю.В. Розпізнавання голосових команд як

точок метричного простору // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – №6. – С. 262–268. 4. Лингвистическая география мира и интернета, <http://www.languages-study.com/statistics.html>. 4. О поколениях мобильной связи на простом языке. Опубликовано: 29.05.2002, 3GNews, <http://www.3gnews.ru/articles/649/>. 5. Стандарты поколений мобильной связи. Опубликовано: 29.05.2002, 3GNews, <http://www.3gnews.ru/articles/667/>. 6. <http://www.pesq.org/>. 7. Ince A. N. Digital Speech Processing: Speech Coding, Synthesis and Recognition // Kluwer International Series in Engineering and Computer Science. 1992. – P. 350-355. 8. Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ). <http://microtronix.ca/pesq-disc.html>. 9. PESQ – the New ITU Standard for End-to-end Speech Quality Assessment. <http://whitepapers.silicon.com/0,39024759,60032649p-39000495q,00.htm>.

УДК 621.315.592

В.А. Ромака<sup>1</sup>, Ю.В. Стадник<sup>2</sup>, В.В. Ромака<sup>2</sup>, А.Е. Лагун<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,

<sup>2</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО МАТЕРІАЛУ $ZrNiSn_{1-x}In_x$ ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОННОЇ ТА КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУР

© Ромака В.А., Стадник Ю.В., Ромака В.В., Лагун А.Е., 2007

Розраховано розподіл електронної густини (DOS) та досліджено структурні характеристики інтерметалевого напівпровідника  $ZrNiSn_{1-x}In_x$ ,  $x = 0 \div 0,15$ . Виявлено локальні структурні розупорядкування та запропоновано механізм взаємного заміщення атомів Zr, Sn та In.

The structural descriptions and electronic density of states (DOS) calculation, as well concentration range  $x = 0 \div 0.15$  impurity concentrations for the  $ZrNiSn_{1-x}In_x$  intermetallic semiconductor. The local disorderings in the  $ZrNiSn_{1-x}In_x$  lattice were found and the mechanism of the reciprocal substitution of the Zr, Sn, and In atoms was proposed.

### Вступ

У роботі наведено результати дослідження впливу сильного легування інтерметалічного напівпровідника  $n$ - $ZrNiSn$  акцепторною домішкою In на зміну електронної та кристалічної структур. Одночасно високі значення електропровідності та коефіцієнта термо-ЕРС  $n$ - $ZrNiSn$  забезпечують значні величини коефіцієнта термоелектричної потужності  $Z^*$ , що робить ці напівпровідники перспективними термоелектричними матеріалами [1]. Дослідження впливу сильного легування ( $N_A$ ,  $N_D \sim 10^{19} \div 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ) інтерметалічних напівпровідників на їхні електрокінетичні, магнітні, резонансні та структурні характеристики дали змогу встановити механізми провідності в широких температурному та концентраційному діапазонах [2, 3] та сформулювати умови виникнення максимальних значень  $Z^*$  для цього класу напівпровідників [4].

Синтез досліджуваних термоелектричних матеріалів полягає у сплавленні шихти вихідних компонентів з подальшим неконтрольованим охолодженням розплаву, що призводить до структурних розупорядкувань (локальної аморфізації), деформацій та напружень і, як результат, флуктуації зон неперервних енергій [5].

Інформація про зміну електронної та кристалічної структур  $n$ - $ZrNiSn$  в процесі легування є важливою для отримання матеріалу з максимальними величинами коефіцієнта термоелектричної потужності  $Z^*$ . При побудові комірки Вігнера–Зейтца для розрахунку розподілу електронної густини легуваних та нелегованих напівпровідників в усіх відомих нам роботах припускали впорядковане розташування атомів. Однак, якщо в реальних легуваних напівпровідниках існує локальна аморфізація, то відповідність розрахунків результатам експериментальних досліджень є невеликою. У [2] показано, що в сплавах інтерметалевого напівпровідника  $ZrNiSn$  присутні